

УСКОРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ТРАНСМИССИЙ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ

Кухарь М.Ю.¹, Руденко И.Н.¹, Мнацаканян А.В.²

¹*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва;*

²*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва*

Ключевые слова: горные машины, электромеханический привод, зубчатые колеса, износ, ремонтное производство, технологическая подготовка, маршруты восстановления, технологический процесс, этапы проектирования.

Аннотация. Рассмотрены вопросы ускорения технологической подготовки ремонта зубчатых колес трансмиссий горной техники и разработки технологической документации по восстановлению деталей. Предложен подход к решению данной задачи и основные этапы ее реализации. В табличном виде представлены обобщенные данные по выбору метода восстановления и формированию технологических маршрутов ремонта зубчатых колес, являющихся одним из трудоемких в изготовлении элементов механических передач. Приведена графическая модель формирования технологического процесса восстановления зубьев с учетом основных параметров зубчатых колес, материала детали и его свойств, характера повреждения и технологического оборудования, доступного для проведения ремонтных работ. Предложенная система также позволяет формировать групповые технологические процессы восстановления деталей, имеющих схожие технологические признаки – звездочек, зубчатых секторов, зубчатых венцов валов-шестерен.

ACCELERATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF REPAIR THE MINING EQUIPMENT GEARS TRANSMISSIONS

Kukhar M.Yu.¹, Rudenko I.N.¹, Mnatsakanyan A.V.²

¹*National Research Technological University "MISIS", Moscow;*

²*MIREA – Russian Technological University, Moscow*

Keywords: mining machines, electromechanical drive, gears, wear, repair production, technological preparation, recovery routes, technological repair process, design stages.

Abstract. The issues of accelerating the technological preparation of the repair of gears of mining equipment transmissions and the development of technological documentation for the restoration of parts are considered. An approach to solving this problem and the main stages of its implementation are proposed. Tabular form presents generalized data on the choice of a recovery method and the formation of technological routes for repairing gears, which are one of the most labor-intensive in the manufacture of mechanical transmission elements. A graphical model of the formation of the technological process of tooth restoration is given, taking into account the main parameters of the gears, the material of the part and its properties, the nature of the damage and the technological equipment available for repair work. The proposed system also makes it possible to form group technological processes for restoring parts with similar technological features – sprockets, gear sectors, gear shaft rims.

Введение

В качестве силовых установок горных машин широко используют электромеханический привод, в состав которого входят электродвигатель и редуктор. Основные механические передачи в редукторах, при помощи которых на исполнительные органы машин передаются значительные крутящие моменты и требуемые частоты вращения, – это зубчатые передачи. Цилиндрические и планетарные редукторы применяют в оборудовании, предназначенном для работы в тяжелых условиях, например, очистных угольных комбайнах, карьерных машинах – экскаваторах, бульдозерах, гусеничной технике, а также строительных машинах. Конические передачи используют в приводах конусных дробилок и ленточных конвейеров.

Зубчатые трансмиссии отличаются высокой надёжностью, вместе с тем при критических эксплуатационных нагрузках могут возникать их внезапные отказы вследствие поломки или износа зубчатых колес. Простой горной машины и потери, связанные с ними,

зависят во многом от того, насколько оперативно будет выполнено восстановление работоспособности деталей. По этой причине ускорение технологической подготовки ремонта зубчатых передач представляет собой важную научно-практическую задачу,

Зубчатые колеса трансмиссий изготавливают, как правило, из дорогостоящих сложнелегированных сталей с применением достаточно трудоемкой химико-термической обработки. В связи с этим каждую деталь стараются использовать максимально эффективно. Поэтому поврежденные колеса передают в ремонт и после проведения восстановительных мероприятий повторно используют по назначению.

Технологическая подготовка ремонтного производства – это многоуровневая задача, включающая в себя анализ возможных эксплуатационных дефектов, разработку маршрутов восстановления деталей, выбор и обоснование средств технологического оснащения, определение рациональных режимов обработки и трудоемкости выполненных работ, а также подготовку технологической документации по восстановлению деталей, которая является основной нормативной базой при проведении ремонтных работ, содержащей все необходимые данные для организации производственного процесса

Как показали исследования, на процесс принятия решения технолог затрачивает менее 15% общего времени, тогда как основная его часть расходуется на поиск необходимой информации и оформление документации. В связи с этим автоматизация технологической подготовки производства в части обеспечения информационной поддержки при проектировании технологических процессов ремонта является актуальной задачей. Внедрение на ремонтном предприятии системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) позволит сократить сроки разработки техпроцессов восстановления и подготовки документации, повысить качество ремонтных работ и облегчить работу технолога [1-4].

Этапы автоматизированного проектирования

При разработке САПР ТП ремонта выбран метод создания единичных технологических процессов восстановления поверхностей на основании типовых технологических процессов, которые разрабатываются в соответствии с классификацией деталей, поверхностей и дефектов, способов восстановления и средств технологического оснащения.

Этапы работ по разработке САПР ТП ремонта для деталей каждого типа, в том числе и зубчатых колес, включают (рис. 1):

- анализ исходных данных: свойств материала, конструктивных особенностей и параметров точности детали, методов упрочнения;
- определение видов повреждений рабочих поверхностей деталей на основе анализа статистики отказов;
- анализ производственных условий ремонтной базы, годовой программы;
- систематизацию данных;
- выбор и обоснование возможных методов восстановления, оборудования и материалов;
- разработку типовых технологических маршрутов восстановления для каждого дефекта с учетом современных тенденций развития ремонтных технологий;
- разработку операционных технологических процессов, расчет режимов обработки и штучного времени;
- оформление технологического процесса восстановления деталей в виде стандартизованных технологических карт.

В зависимости от габаритов зубчатого колеса, модуля и степени точности зубьев, свойств материала поверхностного слоя, вида повреждения и производственных условий определяются возможные варианты восстановления требуемой геометрии профиля зубьев. При этом рассматриваются различные методы наплавки, метод механической обработки и дополнительных ремонтных деталей (ДРД), для восстановления зубчатого венца мелко модульных колес (замена венца) и отдельных зубьев крупномодульных колес, а также метод электрохимической обработки (пластического перераспределения металла из нерабочей зоны в рабочую).

Далее производится формирование технологических маршрутов восстановления зубьев зубчатого венца в зависимости от их параметров и характера повреждения, а также вида доступного оборудования. Предусмотренные методы восстановления являются общими для всех зубчатых колес. Однако марка и свойства стали, из которой изготовлено зубчатое колесо, определяют наплавочный материал, режимы наплавки, вид окончательной термической обработки, а параметры точности зубьев – методы формообразования и отделочной обработки.



Рис. 1. Графическая модель формирования технологического процесса восстановления зубчатых колес

Таким образом, представляется возможным использовать как готовые решения по типовым маршрутам восстановления, выбранным из базы данных, с их корректировкой и адаптацией при необходимости к производственным условиям ремонтного подразделения, так и формирование новых маршрутов восстановления.

Затем производится расчет или выбор из предлагаемых таблиц режимов восстановления, термообработки и отделочной механической обработки, припусков, определение трудоемкости выполняемых операций. Тем самым формируется маршрутно-операционная карта и, соответственно, технологический процесс восстановления детали с эскизами обработки.

Создание базы данных маршрутов восстановления

Важнейшим и наиболее трудоемким этапом автоматизации технологической подготовки ремонта зубчатых колес является формирование различных возможных вариантов маршрутов восстановления зубьев, которые и составляют основу создаваемой базы данных САПР ТП. Некоторые маршруты восстановления представлены в таблице 1. Множество вариантов формируется на основе анализа литературных источников [5-7], производственных данных [8], а также опыта взаимодействия специалистов-технологов кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения НИТУ МИСИС с ремонтными базами горных предприятий и современных данных по способам зубообработки [9, 10].

Табл. 1. Формирование вариантов маршрутов восстановления зубчатых венцов и отдельных зубьев

Характер повреждения		
Излом зуба, сколы вершин и торцов зубьев	Выкрашивание (питтинг) рабочей поверхности зуба, отслоение упрочненного слоя	Абразивный износ рабочей поверхности зуба
Методы восстановления		
Наплавка ручная (механизированная) электродуговая, газовая. Наплавка автоматическая под слоем флюса (в среде CO₂, самозащитной порошковой проволокой, вибродуговая, ..., аргонно-дуговая). Электрошлаковая наплавка (весь венец или отдельный зуб, слой более 12...14 мм для колес с модулем более 20 мм). Плазменная наплавка (толщина слоя 0,2...6, 5 мм, ширина 1,2...45 мм). Лазерная наплавка (слой до 1,0 мм). Индукционная наплавка брикетированными или монолитными заготовками, в огнеупорной среде, пастообразным присадочным материалом. Электрохимическая обработка (пластическое перераспределение металла из нерабочей зоны в рабочую). Механообработка+ ДРД. ... Оборудование, присадочные материалы ...		
Варианты технологических маршрутов восстановления зубьев		
$5 \leq m \leq 10, m \geq 10$, 52...58 HRC, 9-я степень точности, Ra =3,2 мкм, метод упрочнения – цементация	$5 \leq m \leq 10$, 56..62 HRC, 7-8-я степень точности, Ra=1,25...2,5 мкм, метод упрочнения – цементация	$m \leq 5$ мм, 48...52 HRC, 8-я степень точности, Ra=2,5 мкм, метод упрочнения – поверхностная закалка ТВЧ
<i>Скол зуба</i> 1. Слесарная. Зачистка поврежденной поверхности зуба. 2. Наплавочная. Ручная электродуговая наплавка утраченного объема зуба по медному шаблону. 3. Термическая. Газовой горелкой для снятия напряжений. 4. Токарная. Точение торца и наружной поверхности зуба. 5. Горизонтально-фрезерная. Формообразование восстановленного зуба дисковой модульной фрезой. 6. Термическая ТВЧ. Упрочняющая.	<i>Отслоение упрочненного (цементованного) слоя</i> 1. Слесарная*. Зачистка поврежденных боковых поверхностей зубьев, удаление следов износа. 2. Наплавочная. Плазменная наплавка компенсирующего упрочняющего слоя на боковую поверхность зубьев с минимальным припуском под отделочную обработку. 3. Торцешлифовальная. 4. Зубошлифовальная****. Отделочная обработка зубьев профильным шлифовальным кругом.	<i>При износе более 50% зубьев колеса и наличии сколов</i> 1. Отрезная**. Удаление зубчатого венца газовой, воздушно-дуговой, плазменной или лазерной резкой. 2. Токарная. Точение поверхности под наплавку. 3. Наплавочная в среде CO₂. Сплошная круговая по ширине венца. 4. Контрольная. УЗ-контроль. 5. Термическая ТВЧ. Нормализация. 6. Токарная. Точение торцов и поверхности под зубчатый венец. 7. Зубодолбежная. Формирование зубьев. 8. Термическая ТВЧ ***.

Табл. 1. Продолжение

<i>Поломка зуба у основания, $m \geq 10$ (из-за недостаточной твердости сердцевины)</i>	<i>Выкрашивание частиц с боковой поверхности</i>	<i>Износ боковой поверхности зубьев</i>
1. Слесарная. Зачистка основания сломанного зуба. 2. Слесарно-сборочная. Сверление отверстия под шпильку, нарезание резьбы и установка шпильки для формирования каркаса зуба. 3. Наплавочная. Наплавка рабочего слоя на шпильку с припуском под отделочную обработку. 4. Токарная. Обработка торца и головки зуба. 5. Горизонтально-фрезерная. Формообразование восстановленного зуба. 6. Термическая ТВЧ.	1. Слесарная. Зачистка изношенной поверхности, обезжиривание. 2. Наплавочная. Наплавка самозащитной порошковой проволокой с минимальным припуском на отделочную операцию и обеспечением требуемой твердости поверхностного слоя. 3. Термическая. Для снятия напряжений. 4. Торцешлифовальная. Обработка торцов зуба. 5. Зубошлифовальная. Отделочная обработка зубьев.	1. Слесарная. Зачистка изношенной поверхности. 2. Наплавочная. Газовая, (ацетилено- кислородная) наплавка на боковую поверхность зубьев компенсирующего слоя. 3. Термическая ТВЧ. Нормализация. 4. Токарная. Обработка торцов зубьев. 5. Зубодолбежная. Обработка зубьев. 6. Термическая ТВЧ ***.
...	...	...

Примечание:

* при необходимости вводят предварительную смягчающую термообработку обрабатываемой поверхности – средний или высокий отпуск;

** при использовании для удаления зубьев фрезерования или УШМ необходимо на первой операции выполнять смягчающую термообработку – нормализацию венца;

*** вид окончательной упрочняющей термической обработки зависит от заданных механических свойств поверхностного слоя;

**** отделочную обработку зубьев можно также выполнять зубофрезерованием твердосплавными червячными фрезами при наличии соответствующих средств технологического оснащения, либо зубошвингованием с предварительной смягчающей термообработкой наплавленного слоя и последующим его упрочнением закалкой ТВЧ.

При необходимости в технологический маршрут из базы данных включают зубофасочную и зубозакругляющую операции, шлифование базового отверстия, а также промежуточный неразрушающий контроль.

На заключительных этапах восстановления выполняются моечная и контрольная операции (в таблице не указаны).

Таким образом, по каждому конкретному дефекту в зависимости от материала детали, модуля зуба, параметров точности и метода восстановления создаются типовые технологические маршруты, в которых представлено максимально возможное количество вариантов оборудования, материалов, оснастки. Технолог при проектировании технологического процесса ремонта выбирает соответствующий технологический маршрут из базы данных, определяет его составляющие с учетом организационно-технологических особенностей и характеристик ремонтного производства и при необходимости вносит корректировки. Предложенная система также позволяет формировать групповые технологические процессы восстановления зубчатых колес, звездочек, зубчатых секторов, зубчатых венцов валов-шестерен, имеющих схожие технологические признаки. Для уменьшения времени принятия решения при введении исходных данных в части «Производственные условия» возможно указать имеющееся на участке сварочное или наплавочное оборудование и, тем самым, ускорить поиск типового решения или построение рационального маршрута.

Также программа включает в себя типовые технологические процессы восстановления шпоночных и шлицевых посадочных поверхностей зубчатого колеса. Шпоночные пазы с износом свыше 5% восстанавливают наплавкой с последующим долблением паза на этом же или новом месте, с поворотом на 90° относительно исходного месторасположения. Шлицы с большим износом по ширине восстанавливают наплавкой с последующей механической обработкой долблением.

Таким образом, в процессе работы над программой создается обширная база данных реляционного типа, используя которую технолог имеет возможность разрабатывать технологические процессы восстановления зубчатых колес, исходя из конкретных условий производства и имеющихся средств технологического оснащения. Наряду с этим, представляется возможным при необходимости пополнять и расширять библиотеку данных по оборудованию и присадочным материалам, методам термообработки, а также детализировать информацию в части введения исходных данных, вводить данные по режимам обработки и трудоемкости выполнения операций.

Заключение

Ускорение технологической подготовки ремонта зубчатых колес трансмиссий горных машин на основе информационной поддержки процесса проектирования маршрутов восстановления деталей позволяет существенно сократить трудоемкость и сроки проведения ремонта ответственных узлов с учетом материально-технического оснащения ремонтных подразделений, а также время на разработку технологической документации, способствует повышению качества ремонта зубчатых колес. Создаваемая база данных маршрутов восстановления облегчает работу технолога по проектированию рациональной технологии оперативного ремонта передач электромеханического привода, тем самым, сокращая длительность простоев горной техники и финансовые потери горных предприятий.

Список литературы

1. Акулович Л.М., Шелег В.К. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
2. Сурина Н.В., Мнацаканян В.У. Система автоматизированного проектирования технологических процессов при ремонте горной техники // Горный журнал. – 2019. – №7. – С. 90-95. – DOI: 10.17580/gzh.2019.07.08.
3. Зяблов О.К., Фунтикова Е.В. Автоматизация технологической подготовки судоремонтного производства // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2014. – №38. – С. 49-53.
4. Сергеев К.А., Кривич О.Ю., Садыкова О.И., Мироненко О.И., Сергеев И.К. Автоматизированное проектирование технологических процессов ремонтного производства (математическое, информационное и программное обеспечение) // Наука и техника транспорта. – 2019. – №2. – С. 11-14.
5. Санина Т.М., Смирных А.П., Дмитриев В.В., Якубенко А.Н. Ремонт изношенных зубчатых поверхностей деталей агрегатов // Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса». – Орёл: Госуниверситет – УНПК, 2012. – С. 3-6.
6. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А. Технология ремонта деталей зубчатых передач // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2015. – № 10. – С. 16-22.
7. Касенов А.Ж., Аркалыков К.Г. Ремонт и восстановление изношенных зубчатых поверхностей // Материалы международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвящённая 25-летию Независимости Республики Казахстан, Т. 6. – Павлодар: ПГУ, 2016. – С. 73-77.
8. Райков С.В., Шлярова Ю.А. Практика восстановления зубчатых передач сварочными методами // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2022. – №2(40). – С. 39-46.
9. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Современные методы обработки зубчатых колес. – М.: Изд. дом «Спектр», 2012. – 238 с.
10. Калашников А.С. Тенденции развития зубообработки // Ритм машиностроения. – 2016. – №3. – С. 12-19.

References

1. Akulovich L.M., Sheleg V.K. Fundamentals of computer-aided design of technological processes in mechanical engineering. – Minsk: New knowledge; M.: INFRA-M, 2012. – 488 p.
2. Surina N.V., Mnatsakanyan V.U.. Automated process design system for mining equipment repair // Mining Journal. 2019, no. 7, pp. 9095. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.08.

3. Zyablov O.K., Funtikova E.V. Automation of technological preparation of ship repair production // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. 2014, no. 38, pp.49-53.
4. Sergeev K.A., Krivich O.Yu., Sadykova O.I., Mironenko O.I., Sergeev I.K.. Computer-aided design of technological processes of repair production (mathematical, information and software) // Science and technology of transport. 2019, no. 2, pp. 11-14.
5. Sanina T.M., Smirnykh A.P., Dmitriev V.V., Yakubenko A.N. Repair of worn gear wheels surfaces of parts of aggregates // Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference "Topical issues of innovative development of the transport complex". – Orel: State University – ESPC, 2012. – P. 3-6.
6. Skhirtladze A.G., Scriabin V.A. Technology of repair of gear parts // Repair. Recovery. Modernization. 2015, no. 10, pp. 16-22.
7. Kasenov A.Zh., Arkalykov K.G. Repair and restoration of worn gear wheels surfaces // Materials of the international scientific and practical conference "VIII Toraigyrov readings" dedicated to the 25th anniversary of Independence of the Republic of Kazakhstan, Vol. 6. – Pavlodar: PSU, 2016. – P. 73-77.
8. Raikov S.V., Shlyarova Yu.A. The practice of restoring gears by welding methods // Bulletin of the Siberian State Industrial University. 2022, no. 2(40), pp. 39-46.
9. Kalashnikov A.S., Morgunov Yu.A., Kalashnikov P.A. Modern methods of gear wheel processing. – M.: Spectrum Publ. house, 2012. – 238 p.
10. Kalashnikov A. S.Trends in the development of gear wheels treatment // RHYTHM of mechanical engineering". 2016, no. 3, pp. 12-19.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Кухарь Марк Юрьевич – аспирант	Kukhar Mark Yurievich – postgraduate student
Руденко Иван Николаевич – аспирант	Rudenko Ivan Nikolaevich – postgraduate student
Мнацаканян Артём Владимирович – студент	Mnatsakanyan Artem Vladimirovich – student
artvik@bk.ru	

Получена 27.09.2025